

C.N.R. - GRUPPO NAZIONALE PER LA VULCANOLOGIA
ITALY

Fabrizio Ferrucci Fabrizio Innocenti

Progetto-Etna 1993-1995

Stato di avanzamento delle ricerche
C.N.R. Roma, 11-12 Gennaio 1995



GIARDINI

L'ANISOTROPIA SISMICA ALL'ETNA: PROBLEMATICHE CONNESSE E RELAZIONI COL CAMPO DI STRESS

F. BIANCO, M. CASTELLANO, G. MILANO, G. VILARDO

Osservatorio Vesuviano, Ercolano (Napoli)

L'anisotropia sismica è un fenomeno sempre più riconosciuto e studiato in un'ampia varietà di regimi tettonici ed assetti geologici. Tuttavia non risultano molto sviluppate indagini in tal senso in aree vulcaniche; ciò perchè la presenza di mezzi fortemente eterogenei determina contaminazioni nelle proprietà di polarizzazione e propagazione delle onde elastiche che spesso rendono arduo il riconoscimento dell'avvenuta interazione col mezzo anisotropo.

Tutte le onde elastiche che attraversano un volume anisotropo subiscono delle modifiche nelle loro proprietà di propagazione e polarizzazione. Tuttavia il fenomeno più rilevante dal punto di vista diagnostico, alla scala della sismicità locale, è la birifrangenza, o splitting, dell'onda di taglio. Quando un'onda di taglio entra in un volume anisotropo si divide (splitta) in due onde, ancora a polarizzazione trasversale, che viaggiano a velocità differenti (qS1 la più veloce, qS2 la più lenta). Poichè la forma d'onda originaria non viene ricostruita, l'interazione tra onda trasversale e volume anisotropo determina due parametri diagnostici efficaci per la rivelabilità delle caratteristiche del volume attraversato:

la differenza tra i primi arrivi delle fasi qS1 e qS2 (da qui in poi TD);
l'anomalia di polarizzazione della fase S.

I dati analizzati sono stati acquisiti durante 2 periodi caratterizzati da differenti stadi di attività vulcanica :

- tra la primavera e l'estate del 1988, in assenza di fenomeni eruttivi;
- nell'estate-autunno del 1989, durante il penultimo episodio effusivo all'Etna.

Sono state utilizzate stazioni digitali 3C Lennartz PCM5800 ad alta dinamica (120db), in configurazione a trigger.

Al fine di garantirci un set di dati di ottima qualità con le caratteristiche opportune per effettuare studi di splitting dell'onda di taglio (Crampin, 1981), la sismicità registrata nei 2 periodi è stata sottoposta ad una rigida selezione basata su:

- identificazione a vista della fase S sui sismogrammi;
- eventi registrati ad almeno 8 stazioni;
- vincoli sulla localizzazione:

$ERH < 1.5 \text{ Km}$

$ERZ < 2.0 \text{ Km}$

$RMS < 0.30 \text{ sec}$

- angolo d'incidenza inferiore al valore teorico della shear wave window, ossia 35°;

- profondità degli eventi superiore a 5 Km;

- stabilità della risposta in ampiezza dei sensori sismici.

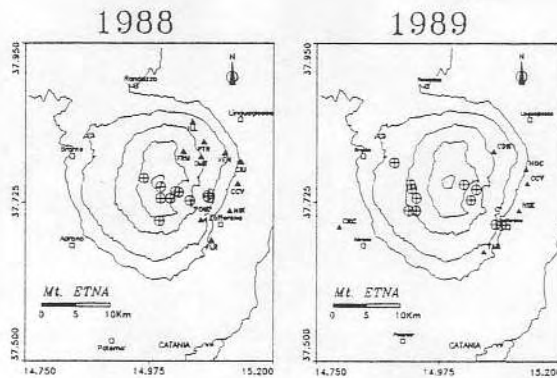


Fig.1: epicentri (cerchi crociati) e stazioni (triangoli pieni) costituenti i 2 set di dati selezionati

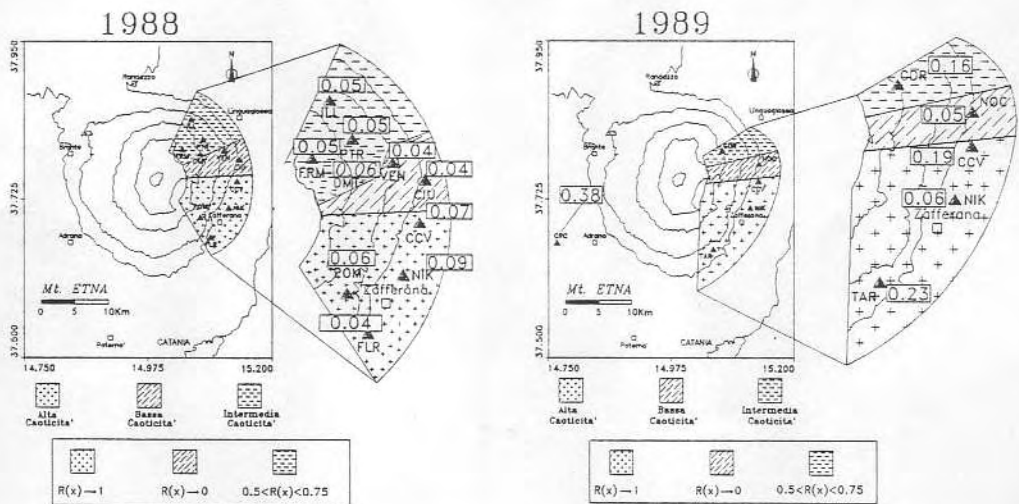


Fig.2: settorizzazione del versante orientale, per ambedue i set di dati, sulla base dell'andamento spaziale di $R(x)$. Accanto a ciascuna stazione sono riportati i valori di TD. Si noti che la settorizzazione dedotta per i dati del 1988 appare confermata da quelli del 1989.

In figura 1 sono riportati gli epicentri e le localizzazioni delle stazioni che, sulla base delle precedenti regole di selezione, costituiscono i 2 set di dati analizzati. Ambedue i set di dati selezionati sono stati filtrati tenendo conto della banda di frequenza propria delle fasi S, compresa generalmente nel range 1-8 Hz. L'analisi dei TD è stata condotta effettuando, per ciascun evento selezionato, misure con 4 tecniche differenti:

- 1) leggendo il ritardo tra gli onset sulle 2 componenti orizzontali direttamente dai sismogrammi;
- 2) utilizzando la tecnica di cross-correlazione di Peron (1989);
- 3) utilizzando il metodo di cross-correlazione su componenti ruotate dei sismogrammi orizzontali (Bowman & Ando, 1987);
- 4) valutando l'intervallo di linearità della fase S (Aster et al., 1990).

Ciascuna stazione è stata quindi caratterizzata da un valore di TD ottenuto dalla media pesata di tutte le misure di TD ottenute con le differenti tecniche, per tutti gli eventi registrati a quella stazione. I pesi si sono assegnati secondo i seguenti criteri:

- misure di TD con letture-peso=1
- misure di TD con tecniche di cross-correlazione-peso=2
- misure di TD dall'intervallo di linearità-peso=3

In figura 2, accanto a ciascuna stazione, sono riportati i valori di TD così calcolati per i 2 set di dati. Si noti come i valori medi pesati di TD relativi al periodo eruttivo siano sensibilmente superiori rispetto a quelli del periodo non eruttivo. L'analisi delle anomalie di polarizzazione della finestra di onde trasversali è stata effettuata attraverso l'utilizzo di 2 differenti rappresentazioni:

- i polarigrammi (Fig. 3), calcolati e rappresentati in 2D;
- gli autovettori di polarizzazione (Fig.3), calcolati in 3D e rappresentati in 2D.

Gli autovettori di polarizzazione sono calcolati effettuando la diagonalizzazione della matrice di covarianza rappresentativa del segnale da analizzare e costituiscono un metodo non standard di analisi delle anomalie di polarizzazione, anche se teoricamente dovrebbero fornire risultati più stabili in presenza di forti eterogeneità, rispetto ai polarigrammi. Per questo si è reso necessario testare questo metodo con l'utilizzo simultaneo di un tipo di rappresentazione più classica quali sono i polarigrammi.

Relativamente ai 2 set selezionati, ambedue le rappresentazioni hanno mostrato un accordo perfetto, nel senso che un'anomalia di polarizzazione riscontrata dai polarigrammi risultava perfettamente individuata anche sugli autovettori di polarizzazione. Tuttavia questi ultimi hanno mostrato un trend parametrizzabile attraverso il parametro empirico caoticità $R(x)$, che abbiamo definito in modo da tener conto del numero di rotazioni che l'autovettore di polarizzazione mostra nell'unità di tempo. In figura 2, oltre all'andamento di TD a ciascuna stazione e' mostrato anche il trend spaziale di $R(x)$, che definisce sul versante orientale 3 settori caratterizzati da un grado differente di caoticità.

Con ulteriori indagini abbiamo verificato che lo splitting rilevato dai parametri TD ed $R(x)$ non era dovuto:

- ad effetti di una sorgente complessa;
- alla presenza di fasi convertite S-P;

- ad effetti di sito e/o alla topografia accidentata.

Si e' percio' concluso che lo splitting osservato era riconducibile alla presenza di un volume anisotropo, distribuito in maniera non omogenea sul versante orientale del vulcano. Una conferma della presenza del volume anisotropo si e' ottenuta dall'andamento delle autodirezioni di polarizzazione della fase qS1 che, a ciascuna stazione, mostrano oscillazioni intorno al valor medio inferiori al 25%. La compatibilita' nelle autodirezioni di polarizzazione a stazioni vicine (Figg. 4.5) suggerisce che il volume anisotropo ha caratteristiche invasive ovvero, in accordo con quanto osservato dall'analisi dei travel-time, esso dovrebbe essere presente nei primi 15-20 Km di crosta superiore.

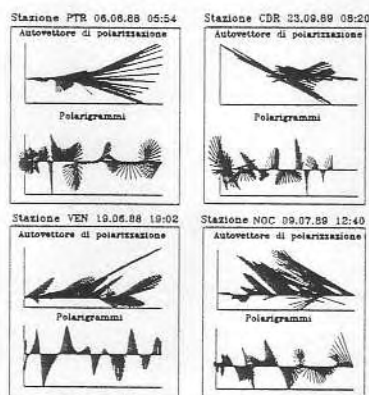


Fig.3: esempi di autovettori di polarizzazione e di polarigrammi per i 2 set di dati

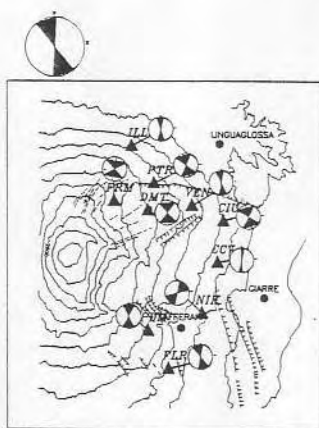


Fig.4: confronto tra le autodirezioni di polarizzazione (riportate vicino a ciascuna stazione) e la direzione media dell'asse compressivo (in alto a sinistra) per il set di dati del 1988.

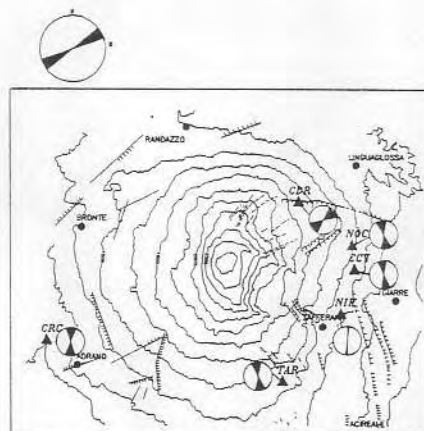


Fig.5: confronto tra le autodirezioni di polarizzazione (vicino a ciascuna stazione) e la direzione media dell'asse compressivo (in alto a sinistra) per il set di dati del 1989.

Ancora nelle figure 4 e 5 è riportato, per i 2 set di dati selezionati, il confronto tra le autodirezioni di polarizzazione a ciascuna stazione e la direzione media dell'asse di massima compressione dedotto dalle soluzioni del piano di faglia relative alla sismicità registrata nel periodo in esame.

Per il set di dati del 1988 si vede che le autodirezioni di polarizzazione, con l'eccezione della stazione FRM, sono compatibili con la direzione dell'asse P, a sua volta compatibile con la direzione del massimo stress compressivo regionale dedotto da indagini di geologia superficiale (Lo Giudice et al., 1982). Le autodirezioni di polarizzazione alla stazione FRM risultano invece compatibili con la direzione del Rift di Nord-Est. Queste osservazioni risultano coerenti con l'ipotesi che il volume anisotropo sia costituito da crack verticali allineati all'incirca in direzione N-S, presenti sull'intero versante orientale fino ad una profondità di circa 15-20 Km, eccetto che nelle vicinanze della stazione FRM dove l'anisotropia dovrebbe avere un approfondimento minore, essendo probabilmente dovuta all'effetto catalizzante della struttura attiva su cui insiste la stazione.

L'incompatibilità tra le autodirezioni di polarizzazione esibite a ciascuna stazione e la direzione dell'asse P per il set di dati del 1989 potrebbe essere spiegata dalla variazione nello stato di stress presente sul vulcano conseguente alla presenza di attività eruttiva. La compatibilità mostrata a CDR (Fig.5) è in realtà fittizia e dovrebbe essere dovuta all'effetto catalizzante della faglia Pernicana su cui è collocata la stazione.

Il campo di stress agente nell'area durante il periodo eruttivo è in grado di mutare le densità e/o le dimensioni dei crack, come testimoniato dal sensibile aumento dei valori di TD nel periodo eruttivo rispetto al set di dati del 1988, ma non è in grado di mutare l'orientazione dei crack, in quanto le autodirezioni di polarizzazione si conservano nel 1989, rispetto a quelle del set di dati del 1988. Al contrario le direzioni medie degli assi P, dedotte dalle soluzioni del piano di faglia, mutano sensibilmente durante il periodo eruttivo coerentemente col fatto che, in quel periodo, un campo di stress locale vulcanico prevale rispetto a quello regionale.

Riferimenti Bibliografici

- ASTER R. C., SHEARER P. and BERGER J. (1990). Quantitative measurements of shear-wave polarizations at the Anza seismic network, southern California: implications for shear-wave splitting and earthquake prediction. *J. Geophys. Res.*, 95: 12,449-12,473.
- CRAMPIN S. (1981): A review of wave motion in anisotropic and cracked elastic-media. *Wave Motion*, 3: 343,391.
- BOWMAN J. R. and ANDO' M. (1987). Shear-wave splitting in the upper mantle wedge above the Tonga subduction zone. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 88, 25-41.
- LO GIUDICE E., PATANE' G., RASA' R. and ROMANO R. (1982). The structural framework of Mount Etna. In R. Romano (Ed.), *Mt. Etna volcano - a review of recent earth science studies*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 23: 125-158.
- PERON J. (1989). Two and four component rotation in analysis of shear-wave splitting. Presentato al SEG Research workshop on Recording and Processing vector wavefield Data, Snowbird, Utah, Agosto 1989, 112-113.